

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 年度～2011 年度

課題番号：21560590

研究課題名（和文） 地震荷重を受けた後の鉄筋コンクリート構造部材の耐久性と許容ひび割れ幅

研究課題名（英文） Allowable crack depth of concrete members suffered earthquake load

研究代表者 岸本 一蔵 (KISHIMOTO ICHIZO)

近畿大学・建築学部・教授

研究者番号：40234215

研究成果の概要（和文）：地震荷重をうけるコンクリート部材を対象に、地震後の残留ひび割れ幅を算定する手法を、実験的および解析的検討から考案し算定式としてまとめた。また、ひび割れ幅と鉄筋腐食の関連性について実験を行い、ひび割れ内部の塩化物イオン量および腐食程度とひび割れの関係について検討し、ひび割れ幅としては 0.2mm 程度が腐食程度の大小を決定する一つの目安となることを示した。

研究成果の概要（英文）：The method to estimate residual crack width on concrete members suffered earthquake load was studied by experimental and analytical investigations and the calculation formula to calculate residual crack width was derived. By experimental study the relation between crack width on the surface of concrete member and degree of corrosion on steel bars, Cl<sup>-</sup> ion concentration are studied. 0.2mm more over crack width caused increasing Cl<sup>-</sup> ion concentration in the cracking surface of concrete and degree of corrosion of steel bars equipped in concrete.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート、残留ひび割れ幅、鉄筋腐食、塩化物イオン濃度

## 1. 研究開始当初の背景

コンクリート系建物の物理的寿命は、ひび割れとそれに伴う中性化と鉄筋腐食による耐力劣化に負うところが大きい。一方、建築物の耐震設計法では、建物の地震後の被害状況をより細かく分類するため、損傷限界や修復限界を規定し、対応する残留ひび割れ幅を示している。しかしこれらのひび割れ幅がど

の程度の部材変形を経験した場合に生じる（残留する）のかについては十分解明されておらず、また、“示された残留ひび割れ幅と被災後の建物の寿命との関連については全く情報がない”というのが実情である。これは、従来ひび割れに関する研究は、通常の使用状態（常時荷重時）を対象としたものが主流であり、地震後のひび割れと部材の耐久性

との関連についての研究が殆ど行われてこなかった事による。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、建物が地震による被災を受けた場合に、その建物に対して許容できる変形量を「経年変化により発生する鉄筋腐食（による耐力低下）を考慮した曲げ耐力」との関係から定めることである。

## 3. 研究の方法

(1) RC 柱（梁）の曲げせん断実験を行い、部材変形ピーク時における曲げひび割れ幅、および残留ひび割れ幅算定式を提案する。これにより地震により被災した建物の経年（最大）変形量と、ひび割れ幅（最大ひび割れ幅、残留ひび割れ幅）の関係を明らかにする。  
(2) 鉄筋コンクリート部材に、2 点荷重によりひび割れを発生させたものを腐食促進試験し、ひび割れの大きさとひび割れ部位での部材の中性化程度と鉄筋腐食の関連を明らかにし、そこから部材の経年変化と耐久性（曲げ耐力の低下量）の関係を求める。

## 4. 研究成果

(1) 鉄筋コンクリート造柱試験体に対する曲げせん断実験を行い、その結果を考察することによって残留ひび割れ幅の算定式を導いた。また、算定結果を実験値と比較することによって式の妥当性を検討した。

(残留ひび割れ幅算定式)

$$W_{re} = \frac{D - x_n}{D - x_n - t} (W'_{pl} - W'_N)$$

$$W'_{pl} = (s/2 + l_{pl}/4) \cdot \epsilon_{pl}$$

$$W'_N = \left( \frac{s}{2A'_e} + \frac{a_t \cdot s \cdot \sigma_y}{\tau_b \cdot \phi \cdot A_e} \right) \cdot \frac{N}{E_c}$$

$$\epsilon_{pl} = \left\{ (D - x_n - t) \cdot R - (L/2 + \frac{a_t \cdot s \cdot \sigma_y}{\tau_b \cdot \phi} + l_{pl}) \cdot \epsilon_{sy} \right\} / l_{pl}$$

$$l_{pl} = \text{Max} \left\{ D, 100 \cdot \left( R - \frac{M_y}{\alpha \cdot E_{cl}} \right) \cdot D \right\}$$

$$A'_e = (b - 2x_n) \cdot D + n \cdot A_s$$

$$A_e = b \cdot D + n \cdot A_s$$

$$\tau_b = 0.484 \cdot f_c^{0.617}$$

$W_{re}$ : 最大残留ひび割れ幅 (mm),  $W'_{pl}$ : 第一ひび割れに寄与する塑性領域のひずみ積算値 (mm),  $W'_N$ : 軸力によって生じる主筋の圧縮ひずみのうち、第一ひび割れに寄与する領域の積算値 (mm)  $D$ : 部材断面せい (mm),  $x_n$ : 中立軸位置 (mm) ( $x_n = (\eta / 0.83) \cdot D$ ),  $\eta$ : 軸力比,  $t$ : かぶり厚さ (mm),  $s$ : 帯筋間

隔 (mm),  $\epsilon_{pl}$ : 主筋の塑性分のひずみ,  $l_{pl}$ : 主筋の塑性化領域長さ (mm)  $A_e$ : 等価断面積 (mm),  $A'_e$ : コンクリートの圧縮を考慮した等価断面積 (mm),  $a_t$ : 主筋 1 本の断面積 (mm<sup>2</sup>),  $A_s$ : 主筋の全断面積 (mm<sup>2</sup>),  $\sigma_y$ : 主筋の降伏応力,  $\phi$ : 鉄筋の周長 (mm),  $\epsilon_{sy}$ : 主筋の降伏ひずみ,  $N$ : 軸力 (N),  $E_c$ : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>),  $R$ : 部材変形角,  $M_y$ : 主筋の降伏モーメント (N・mm),  $\alpha$ : 降伏点剛性低下率,  $E_{cl}$ : 弾性剛性 (N・mm),  $\tau_b$ : 最大付着応力 (N/mm<sup>2</sup>)  $f_c$ : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) ひび割れを有する鉄筋コンクリート部材に対して、塩分飛来環境を模擬した塩水噴霧試験を行い、塩水浸漬試験と比較して、塩化物イオンの侵入程度、内部鉄筋の腐食程度の違いを検討し、また暴露試験を行い塩水噴霧試験と比較検討を行うことで以下の知見を得た。

① ひび割れ内部の塩化物イオン濃度は、塩水噴霧試験ではひび割れ幅が小さくなると（本実験では 0.2mm 以下）外部の塩化物イオン濃度より小さくなる。一方、塩水浸漬試験ではひび割れ幅との相関はなく、ひび割れ幅によらず外部と内部の塩化物イオン濃度はほぼ同程度である。

② ひび割れ内部の塩化物イオン濃度は、塩水噴霧試験ではかぶり厚さが大きくなると小さくなるが、塩水浸漬試験ではかぶり厚さの影響はない。

③ 内部鉄筋の腐食程度は、塩水噴霧試験ではひび割れ幅が小さい（本実験では 0.15mm 以下）場合、またかぶり厚さが大きい場合小さくなる。これは、水や酸素の供給（かぶり厚さが大きい場合、加えて内部塩化物イオン量の供給）が抑制されることが要因と考えられる。

④ 塩水噴霧試験と暴露試験の比較では、内部鉄筋の腐食状況、内部塩化物イオン量と最大腐食面積率の関係について両試験で同様の傾向が見られた。一方、塩化物イオンのひび割れ内部への侵入状況は、暴露試験ではより小さいひび割れ幅で内部の塩化物イオン濃度は外部の濃度に近い値になっており、風などによる外気のひび割れ内部への流入が大きく影響しているものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 増田 有佑、南口 真一、岸本 一蔵、曲げとせん断を受ける RC 部材の曲げひび割れ発生位置に関する考察、コンクリート工学年次論文報告集、31 巻、2 号、pp.901-905、2010.6
- ② 南口 真一・増田 有佑・岸本 一蔵、曲げ

- せん断を受けるRC造柱の最大残留ひび割れ幅算定、コンクリート工学年次論文報告集、33巻、2号、pp.175-180、2011.7
- ③ 秋元秀孝、岸本一蔵、ひび割れを有する鉄筋コンクリート部材の腐食に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、33巻、2号、掲載頁未定、2012.7
- ④ 南口 真一・岸本 一蔵、曲げとせん断を受ける RC 造柱の曲げひび割れ幅算定式、日本建築学会論文報告集、条件付採用

〔学会発表〕(計8件)

- ① 秋元秀孝、ひび割れを有する鉄筋コンクリート部材の腐食に関する実験的研究、コンクリート工学年次大会、2012.7.4、広島国際会議場
- ② 三品雄資、鉄筋コンクリート部材のひび割れ内部の鉄筋腐食に関する実験的研究、日本建築学会近畿支部発表会、2012.6.17、大阪 大阪工業技術専門学校
- ③ 秋元秀孝、ひび割れを有する鉄筋コンクリート部材の鉄筋腐食に関する実験的研究、2011.8.23、東京 早稲田大学
- ④ 南口 真一、曲げせん断を受けるRC造柱の最大残留ひび割れ幅算定、コンクリート工学年次大会、2011.7.13、大阪 グランキューブ
- ⑤ 秋元秀孝、曲ひび割れを有する鉄筋コンクリート部材の腐食に関する研究、日本建築学会近畿支部発表会、2011.6.18、大阪 大阪工業技術専門学校
- ⑥ 松本行平、ひび割れのある鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食量に関する実験的研究、日本建築学会大会、2010.9.10、富山 富山大学
- ⑦ 増田 有佑、曲げとせん断を受ける RC 部材の曲げひび割れ発生位置に関する考察、コンクリート工学年次大会、2010.7.7、埼玉 大宮ソニックシティ
- ⑧ 南口 真一、曲げとせん断を受ける RC 部材の曲げひび割れ発生位置に関する考察、日本建築学会近畿支部発表会、2010.6.20、大阪 大阪工業技術専門学校

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 一蔵 (KISHIMOTO ICHIZO)  
 近畿大学・建築学科・教授  
 研究者番号：40234215

(2) 研究分担者

大野 義照 (OHNO YOSHITERU)  
 大阪大学・先端科学イノベーションセンター・特任教授  
 研究者番号：30029194

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：